# Aços de alta resistência e baixa liga em oleodutos e gasodutos

Clovis Misseno da Cruz[1] e José Carlos Morilla[2]

[1]Aluno do Curso de Mestrado na Universidade Santa Cecília, Santos, BR,
[2] Professor do Curso de Mestrado na Universidade Santa Cecília, Santos, BR.

Este trabalho tem o objetivo de estudar a evolução do uso de aços de baixa liga e alta resistência (ARBL) em tubulações, tendo como base a quadragésima quarta edição da especificação API 5L de 2007 da *American Petroleum Institute* (API), com foco na evolução a partir do grau X52.

**Palavras Chave**
Aço, ARBL, tubulação, API 5L.

---

## *High-strength low-alloy steel in oil and gas line pipe*

*This paper aims to study the evolution of the use of high-strength low-alloy steel (HSLA) in line pipe, based on the forty-fourth edition of the specification API 5L, 2007 American Petroleum Institute (API), focusing on developments starting the grade X52.*

***Key word***
*Steel, HSLA, line pipe, API 5L.*

---

## INTRODUÇÃO

O aço é a liga ferro-carbono contendo geralmente 0,008% até aproximadamente 2,11% de carbono, além de certos elementos residuais, resultantes do processo de fabricação, que devem estar inferiores a certos limites, também podem ser adicionados outros elementos com o objetivo de dar características especiais ao aço. Chiaverini (1996).

Os aços classificados como de alta resistência e baixa liga (ARBL), são aços que possuem baixo teor de carbono inferior a 0,30% e baixo teor de liga. Estes aços possuem aspectos físicos, químicos e econômicos que levaram seu emprego em tubulações de longos trechos. Dentro das características físicas destacam-se a resistência mecânica, boa soldabilidade e tenacidade.

A *American Petroleum Institute* (API) é uma associação das indústrias de petróleo e gás natural, responsável em criar normas e procedimentos para as indústrias de petróleo.

A API 5L *Specification for Line Pipe* editada pela quadragésima quarta vez em 2007, especifica tubulações na indústria de petróleo e adota aços de alta resistência e baixa liga na fabricação das tubulações.

Na especificação API 5L, existem vários requisitos que devem ser atendidos, sendo os principais o limite de escoamento (LE), limite de resistência (LE), composição química,

principalmente quanto ao teor de carbono, tecnologia de fabricação do aço, tecnologia da fabricação dos tubos, etc.

## MATERIAL E MÉTODOS

Com base em pesquisas já realizadas e na Tabela 1, construída neste trabalho, pretendo determinar a influência da composição química e processo de fabricação na evolução da API 5L.

Tabela 1 – Característica dos Tubos da API 5L a partir do Grau X52

| | | | | | | | | | | | | | Carbono Equivalente | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | C | Mn | P | S | Si | V | Nb | Ti | Other | CEIIW | CEPcm | LE | LR |
| Grau | PSL | Costura | Fabricação | % máx | % máx | % máx | % máx | % máx | % máx | % máx | % máx | % máx | % máx | % máx | min (MPa) | min (MPa) |
| X52 | 1 | sem | - | 0,28 | 1,40 | 0,030 | 0,030 | - | a | a | a | - | - | - | 360 | 460 |
| | | com | | 0,26 | 1,40 | 0,030 | 0,030 | - | a | a | a | - | - | - | | |
| | 2 | - | N | 0,24 | 1,40 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | a,b | 0,43 | 0,25 | | |
| | | - | Q | 0,18 | 1,50 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | b | 0,43 | 0,25 | | |
| | | com | M | 0,22 | 1,40 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | a | a | a | b | 0,43 | 0,25 | | |
| X56 | 1 | sem | - | 0,28 | 1,40 | 0,030 | 0,030 | - | a | a | a | - | - | - | 390 | 490 |
| | | com | | 0,26 | 1,40 | 0,030 | 0,030 | - | a | a | a | - | - | - | | |
| | 2 | - | N | 0,24 | 1,40 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | a,b | 0,43 | 0,25 | | |
| | | - | Q | 0,18 | 1,50 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | 0,07 | 0,05 | 0,04 | a,b | 0,43 | 0,25 | | |
| | | com | M | 0,22 | 1,40 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | a | a | a | b | 0,43 | 0,25 | | |
| X60 | 1 | sem | - | 0,28 | 1,40 | 0,030 | 0,030 | - | a | a | a | - | - | - | 415 | 520 |
| | | com | | 0,26 | 1,40 | 0,030 | 0,030 | - | a | a | a | - | - | - | | |
| | 2 | - | N | 0,24 | 1,40 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | 0,10 | 0,05 | 0,04 | a,c | 0,43 | 0,25 | | |
| | | - | Q | 0,18 | 1,70 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | a | a | a | a,b | 0,43 | 0,25 | | |
| | | com | M | 0,12 | 1,60 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | a | a | a | c | 0,43 | 0,25 | | |
| X65 | 1 | sem | - | 0,28 | 1,40 | 0,030 | 0,030 | - | a | a | a | - | - | - | 450 | 535 |
| | | com | | 0,26 | 1,45 | 0,030 | 0,030 | - | a | a | a | - | - | - | | |
| | | - | Q | 0,18 | 1,70 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | a | a | a | c | 0,43 | 0,25 | | |
| | | com | M | 0,12 | 1,60 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | a | a | a | c | 0,43 | 0,25 | | |
| X70 | 1 | sem | - | 0,28 | 1,40 | 0,030 | 0,030 | - | a | a | a | - | - | - | 485 | 570 |
| | | com | | 0,26 | 1,65 | 0,030 | 0,030 | - | a | a | a | - | - | - | | |
| | 2 | - | Q | 0,18 | 1,80 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | a | a | a | c | 0,43 | 0,25 | | |
| | | com | M | 0,12 | 1,60 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | a | a | a | c | 0,43 | 0,25 | | |
| X80 | 2 | - | Q | 0,18 | 1,90 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | a | a | a | d,e | 0,43 | 0,25 | 555 | 625 |
| | | com | M | 0,12 | 1,60 | 0,025 | 0,015 | 0,45 | a | a | a | d | 0,43 | 0,25 | | |
| X90 | 2 | com | M | 0,10 | 2,10 | 0,020 | 0,010 | 0,55 | a | a | a | d | - | 0,25 | 625 | 695 |
| X100 | 2 | com | M | 0,10 | 2,10 | 0,020 | 0,010 | 0,55 | a | a | a | d,e | - | 0,25 | 690 | 760 |
| X120 | 2 | com | M | 0,10 | 2,10 | 0,020 | 0,010 | 0,55 | a | a | a | d,e | - | 0,25 | 830 | 915 |

Legenda:

a - Soma das concentrações de vanádio, nióbio e titânio devem ser $\leq 0{,}15\%$.

b - Máximo de 0,50% para o cobre, 0,30% para o níquel, 0,30% para o cromo e 0,15% para o molibdênio.

c - Máximo de 0,50% para o cobre, 0,50% para o níquel, 0,50% para o cromo e 0,5% para o molibdênio.

d - Máximo de 0,50% para o cobre, 1,0% para o níquel, 0,50% para o cromo e 0,5% para o molibdênio.

e - Máximo 0,004% de boro.

com – com costura.

sem – sem costura.

N – *Normalizing rolling* (Normalização)

Q - *Quenched and tempered* (Têmpera)

M – *Termo mechanical rolling* (Laminação convencional controlada)

PSL1- Nível padrão.

PSL2 – Requisitos obrigatórios para a composição química, ductilidade e propriedades de resistência.

Fonte: API (2007)

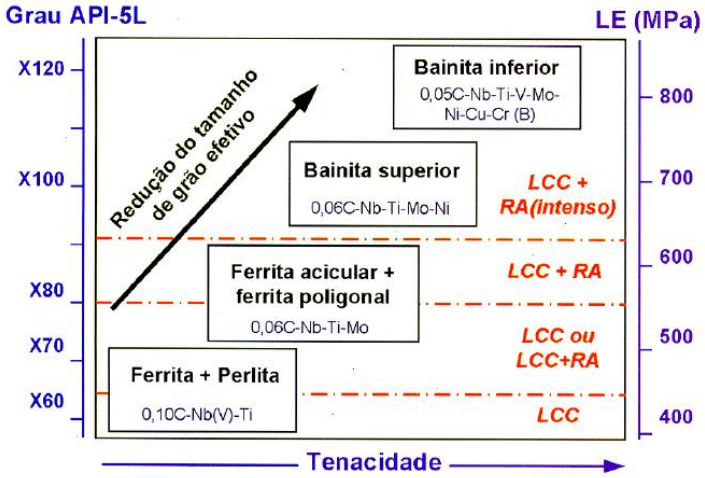



Figura 1 – Constituintes microestruturais predominantes em aços API
Fonte: Araujo, Sampaio (2008, p.214)

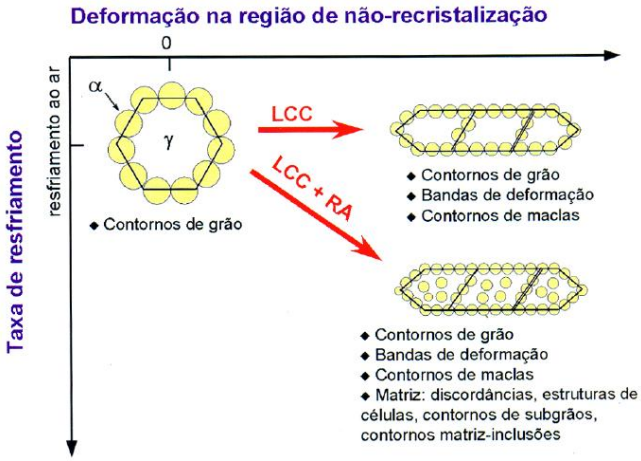



Figura 2 – Efeito da laminação e do resfriamento sobre sítios de nucleação na transformação da austenita.
Fonte: Araujo, Sampaio (2008, p.213)

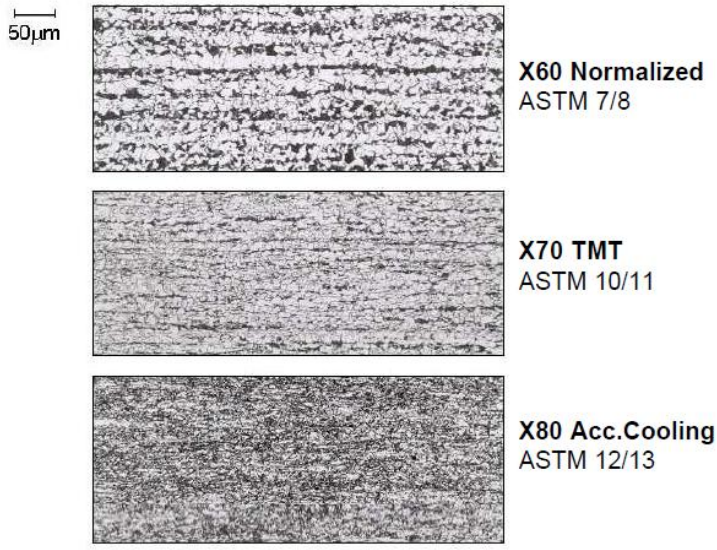


Figura 3 – Microestrutura de normalização, laminação controlada convencional e resfriamento rápido.
Fonte: Hillenbrand, Gras, KALMA (2001)

## RESULTADOS

Analisando da Tabela 1, vemos como a composição química influenciou o aumento de limite de escoamento e resistência. A redução do teor de carbono aumenta a tenacidade e melhora soldabilidade, isso foi conseguido principalmente pelo aumento do manganês, sua adição também aumenta a resistência mecânica pelo fortalecimento da ferrita. O silício tem a função de acalma o aço e também aumenta a resistência mecânica.

Os elementos microligantes que ajudam diretamente nas propriedades do aço, ver Tabela 1 e Figura 1. O vanádio que aumenta a resistência do aço, porque fortalece a ferrita e refina os grãos. Uma pequena adição de nióbio aumenta o limite de escoamento. O titânio é usado como estabilizado. O molibdênio aumenta a resistência mecânica, quando adicionado tem a intenção de reduzir a "fragilidade de revenido". O níquel melhora a resistência à corrosão e melhora as propriedades do aço, pois ajuda no refino dos grãos. O Cobre também melhora a resistência à corrosão, além de melhorar o limite de escoamento e resistência à tração. Pequenas adições de cromo aumenta a resistência, limite elástico, tenacidade e resistência a choques. O boro ajuda a diminuir o teor de carbono. Chiaverini (1996).

A evolução dos processos de fabricação influenciou diretamente a melhora da tenacidade, limite de escoamento e resistência, ver Tabela 1, Figura 1 e 2. Foi necessário além da técnica de laminação controlada convencional (LCC) adicionar o resfriamento rápido (RA), isso levou a redução do tamanho dos grãos e consequentemente a melhora das propriedades mecânicas do aço. A técnica LCC mais RA é conhecida como TMCP *Thermo-Mechanical Controlled Processing* (TMCP). O TMCP deve cumprir os seguintes objetivos: LCC deve maximizar a formação de sítios para a transformação da austenita e RA deve maximixar à taxa de nucleação durante a transformação. Araujo, Sampaio (2008, p.212)

A Figura 3 mostra o efeito do processo de fabricação na diminuição dos grãos, logo, melhora nas propriedades mecânicas.

## DISCUSSÃO

Existem duas grandes preocupações na utilização dos dutos API 5L, principalmente nas séries mais altas, a soldagem e as curvas, pois em ambos os processos existem o risco de perda de propriedades mecânicas que podem levar a acidentes, por esse motivo, existem vários trabalhos acadêmicos que testam esses limitantes.

## CONCLUSÃO

O processo de fabricação TMCP em conjunto com o aumento da taxa de manganês e silício, e adição de microligantes tiveram influência direta no desenvolvimento dos aços aplicados ao API 5L.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, "Specification for line pipe, ANSI/API Spec 5L", 44ª Edição, 2008.

ARAUJO, C., SAMPAIO, M. Engenharia de microestrutura de aços para tubos de grande diâmetro. **Revista ABM**, São Paulo, v.64, n. 588, p.212-214, maio 2008.

CHIAVERINI, V. , "Aços e Ferros Fundidos"**,** 7ª Edição, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais – ABM, 1996.

HILLENBRAND, H. G.; GRAS, M.; KALMA, M. "Development and production of high strength pipe stells", International Symposium Niobium 2001. Orlando, Florida, USA, 2001.